

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-344450

(43) 公開日 平成11年(1999)12月14日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号
 G 0 1 N 21/88
 G 0 6 T 7/00

F I
 G 0 1 N 21/88 J
 E
 G 0 6 F 15/62 4 0 5 A
 15/70 4 6 5 A

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平10-154865

(22) 出願日 平成10年(1998) 6 月 3 日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地

(72) 発明者 下田 篤

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 高木 裕治

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 高橋 明夫 (外1名)

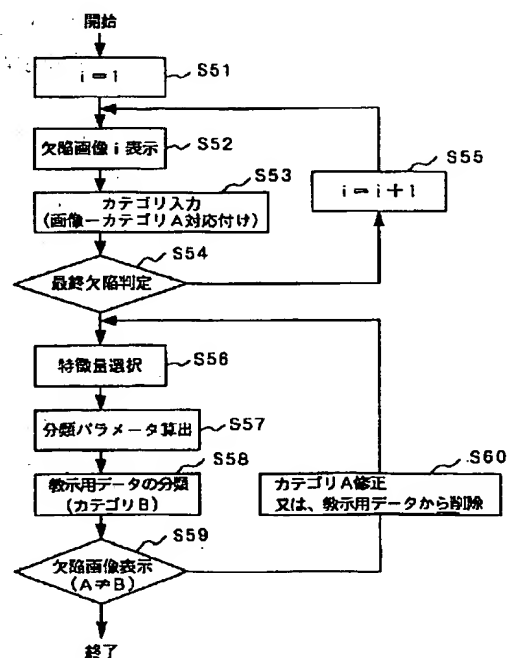
(54) 【発明の名称】 教示用データ作成方法並びに欠陥分類方法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】 正確な教示用データの作成を支援できることによって、欠陥の発生原因を推定するために欠陥の画像信号から欠陥の種類を正確に分類できるようにした学習機能を備えた欠陥分類方法およびその装置を提供することにある。

【解決手段】 本発明は、欠陥画像信号を元に欠陥の種類を分類するための教示データ作成方法であって、複数の教示用欠陥画像について複数の特徴量を算出し、各教示用欠陥について前記算出された特徴量に基づく特徴空間におけるカテゴリ間の判別関数で示される分類パラメータを算出して複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データの統計的有意性を診断し、性能を低下させる可能性がある教示用欠陥画像を画面に表示して前記教示データを修正することを特徴とする。

図 6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 欠陥画像信号を元に欠陥の種類を分類するための教示用データ作成方法であって、

複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、前記付与されたカテゴリと前記算出された特徴量とに基づき教示用欠陥画像の特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数を算出し、該判別関数を用いて教示用欠陥画像とカテゴリの対応からなる教示用データを診断し、少なくとも性能を低下させる可能性がある教示用欠陥画像を画面に表示して前記教示用データを修正することを特徴とする教示用データ作成方法。

【請求項 2】 予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、前記付与されたカテゴリと前記算出された特徴量に基づき教示用欠陥画像の特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数を算出し、該判別関数を用いて各教示用欠陥を分類してカテゴリを付与するカテゴリ付与過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ教示過程で教示されたカテゴリと前記カテゴリ付与過程で付与されたカテゴリとを比較して、両カテゴリが相違する場合、少なくともその情報を表示手段に表示し、該表示された情報を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 3】 予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、該算出された各教示用欠陥についての所望の複数の特徴量の関係から各教示用欠陥を

分類してカテゴリを付与するカテゴリ付与過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ教示過程で教示されたカテゴリと前記カテゴリ付与過程で付与されたカテゴリとを比較して、両カテゴリが相違する場合、少なくともその情報を表示手段に表示し、該表示された情報を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 4】 予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、該算出された各教示用欠陥についての所望の複数の特徴量の関係からカテゴリを分類するためのパラメータを算出し、該算出された分類パラメータに基づいて各教示用欠陥を分類してカテゴリを付与するカテゴリ付与過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ教示過程で教示されたカテゴリと前記カテゴリ付与過程で付与されたカテゴリとを比較して、両カテゴリが相違する場合、少なくともその情報を表示手段に表示し、該表示された情報を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 5】 請求項 3 または 4 記載の学習工程におけるカテゴリ付与過程において、各教示用欠陥についてカテゴリを分類する際、算出された特徴量の中から所望の複数の特徴量を選択する特徴量選択過程を有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 6】 予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教

示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、前記付与されたカテゴリと前記算出された特徴量に基づき教示用欠陥画像の特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数を算出し、該判別関数を用いて各教示用欠陥を分類するためのカテゴリ分類評価値を算出するカテゴリ分類評価値算出過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ分類評価値算出過程で算出されたカテゴリ分類評価値を表示手段に表示し、該表示されたカテゴリ分類評価値を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 7】請求項 6 記載の学習工程におけるカテゴリ分類評価値算出過程において、各教示用欠陥を分類するカテゴリ分類評価値を算出する際、算出された特徴量の中から所望の複数の特徴量を選択する特徴量選択過程を有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 8】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について複数の特徴量を算出する特徴量算出過程と、該特徴量算出過程で算出される複数の特徴量の関係に基づく特徴量空間上に教示用欠陥を位置させて表示手段に表示し、該表示された特徴量空間上における教示用欠陥の位置に応じて該教示用欠陥に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 9】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について複数の特徴量を算出する特徴量算出過程と、該特徴量算出過程で算出される特徴量の中から所望の複数の特徴量を選択する特徴量選択過程と、該特徴量選択過程で選択された所望の複数の特徴量の関係に基づく特徴量空間上に、前記特徴量算出過程で算出する教示用欠陥を位置させて表示手段に表示し、該表示された特徴量空間上における教示用欠陥の位置に応じて該教示用欠陥に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法。

【請求項 10】更に、前記分類工程で分類された欠陥の種類に基づいて欠陥の発生原因を推定する欠陥の発生原因推定工程とを有することを特徴とする請求項 2 または 3 または 4 または 5 または 6 または 7 または 8 または 9 記載の欠陥分類方法。

【請求項 11】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、前記欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に基づいて複数の教示用欠陥の各々を分類してカテゴリを付与する計算手段と、前記欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像と前記計算手段で複数の教示用欠陥に対して分類されたカテゴリとを表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された被検査対象の欠陥画像を元に、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから前記欠陥の種類を分類する計算手段とを備えた分類部とで構成することを特徴とする欠陥分類装置。

【請求項 12】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出する計算手段と、該計算手段で算出された所望の複数の特徴量の関係に基づく特徴量空間上に教示用欠陥を位置させて表示し、更に教示用欠陥に対して付与されたカ

テゴリを表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥の特微量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特微量を算出し、該算出された欠陥の所望の特微量を元に、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類部とで構成することを特徴とする欠陥分類装置。

【請求項 1 3】 予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特微量を算出し、該算出された各教示用欠陥についての所望の複数の特微量の関係から各教示用欠陥を分類するカテゴリ分類評価値を算出する計算手段と、各教示用欠陥について前記計算手段で算出されたカテゴリ分類評価値を表示し、更に教示用欠陥に対して付与されたカテゴリを表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥の特微量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特微量を算出し、該算出された欠陥の所望の特微量を元に、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類部とで構成することを特徴とする欠陥分類装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体ウェハ等の製造プロセスにおける欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像信号に基づいて欠陥の種類を分類して欠陥の発生原因を推定可能にする欠陥分類方法およびその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 特開平 8-21803 号公報には、欠陥種別判定装置が記載されている。これは、ニューロ処理ユニットの入力として欠陥画像から抽出した欠陥情報（面積、形状、位置、明るさ、等）を与え、出力として欠陥種別を得る構成とし、欠陥種別に対応した欠陥情報に対してそれぞれの欠陥種別が出現するように前記ニューロ処理ユニットを学習させておくものである。この結果、分類対象画像から抽出した欠陥情報を前記ニューロ処理ユニットに入力して、その出力から欠陥種別を判定するものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記学習型欠陥分類装

置では、ユーザが提示する学習用データに矛盾したデータが含まれ易い問題がある。特に、画像の分類においては、ユーザはあいまいな判定を行いやすいため、上記の傾向は顕著である。しかし、上記従来技術では、ユーザが矛盾したデータを与えた場合でもシステムは汎用的に対応しようとするため、全体としての性能を低下させる恐れがあった。

【0004】 本発明の目的は、上記課題に鑑みて、欠陥の発生原因を推定するために欠陥の画像信号から欠陥の種類を分類するための正確な教示用データの作成を支援できるようにした教示用データ作成方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、正確な教示用データの作成を支援できることによって、欠陥の発生原因を推定するために欠陥の画像信号から欠陥の種類を正確に分類できるようにした学習機能を備えた欠陥分類方法およびその装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明は、欠陥画像信号を元に欠陥の種類を分類するための教示用データ作成方法であって、複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特微量を算出し、前記付与されたカテゴリと前記算出された特微量とに基づき教示用欠陥画像の特微量空間におけるカテゴリ間の判別関数を算出し、該判別関数を用いて教示用欠陥画像とカテゴリの対応からなる教示用データを診断し、少なくとも性能を低下させる可能性がある教示用欠陥画像を画面に表示して前記教示用データを修正することを特徴とする。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特微量を算出し、前記付与されたカテゴリと前記算出された特微量に基づき教示用欠陥画像の特微量空間におけるカテゴリ間の判別関数を算出し、該判別関数を用いて各教示用欠陥を分類してカテゴリを付与するカテゴリ付与過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ教示過程で教示されたカテゴリと前記カテゴリ付与過程で付与されたカテゴリとを比較して、両カテゴリが相違する場合、少なくともその情報を表示手段に表示し、該表示された情報を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学

習工程と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法である。

【0006】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、該算出された各教示用欠陥についての所望の複数の特徴量の関係から各教示用欠陥を分類してカテゴリを付与するカテゴリ付与過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ教示過程で教示されたカテゴリと前記カテゴリ付与過程で付与されたカテゴリとを比較して、両カテゴリが相違する場合、少なくともその情報を表示手段に表示し、該表示された情報を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法である。

【0007】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、該算出された各教示用欠陥についての所望の複数の特徴量の関係からカテゴリを分類するためのパラメータを算出し、該算出された分類パラメータに基づいて各教示用欠陥を分類してカテゴリを付与するカテゴリ付与過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ教示過程で教示されたカテゴリと前記カテゴリ付与過程で付与されたカテゴリとを比較して、両カテゴリが相違する場合、少なくともその情報を表示手段に表示し、該表示された情報を元に、教示

用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法である。

【0008】また、本発明は、前記欠陥分類方法の学習工程におけるカテゴリ付与過程において、各教示用欠陥についてカテゴリを分類する際、算出された特徴量の中から所望の複数の特徴量を選択する特徴量選択過程を有することを特徴とする。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像を表示手段に表示し、該表示された複数の教示用欠陥画像に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程と、前記教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、前記付与されたカテゴリと前記算出された特徴量に基づき教示用欠陥画像の特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数を算出し、該判別関数を用いて各教示用欠陥を分類するためのカテゴリ分類評価値を算出するカテゴリ分類評価値算出過程と、各教示用欠陥について前記カテゴリ分類評価値算出過程で算出されたカテゴリ分類評価値を表示手段に表示し、該表示されたカテゴリ分類評価値を元に、教示用欠陥についてカテゴリを修正または教示用欠陥を除外して教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示する修正または除外教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法である。また、本発明は、前記欠陥分類方法の学習工程におけるカテゴリ分類評価値算出過程において、各教示用欠陥を分類するカテゴリ分類評価値を算出する際、算出された特徴量の中から所望の複数の特徴量を選択する特徴量選択過程を有することを特徴とする。

【0009】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された

複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について複数の特徴量を算出する特徴量算出過程と、該特徴量算出過程で算出される複数の特徴量の関係に基づく特徴量空間上に教示用欠陥を位置させて表示手段に表示し、該表示された特徴量空間上における教示用欠陥の位置に応じて該教示用欠陥に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法である。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する教示用欠陥画像検出過程と、該教示用欠陥画像検出過程で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について複数の特徴量を算出する特徴量算出過程と、該特徴量算出過程で算出される特徴量の中から所望の複数の特徴量を選択する特徴量選択過程と、該特徴量選択過程で選択された所望の複数の特徴量の関係に基づく特徴量空間上に、前記特徴量算出過程で算出する教示用欠陥を位置させて表示手段に表示し、該表示された特徴量空間上における教示用欠陥の位置に応じて該教示用欠陥に対してカテゴリを付与することにより教示用欠陥とカテゴリとの対応を教示するカテゴリ教示過程とを有し、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習工程と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習工程で取得された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類工程とを有することを特徴とする欠陥分類方法である。

【0010】また、本発明は、前記欠陥分類方法において、更に、前記分類工程で分類された欠陥の種類に基づいて欠陥の発生原因を推定する欠陥の発生原因推定工程とを有することを特徴とする。また、本発明は、被検査物の欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像信号に基づいて欠陥の種類を分類する欠陥分類方法であって、ユーザが予め教示用欠陥画像にカテゴリAを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリの対応を教示する教示過程と、教示用欠陥画像の特徴量と付与されたカテゴリAを元に計算手段が分類してカテゴリBを付与する付与過程と、カテゴリAとカテゴリBが一致しない教示用欠陥画像を表示する表示過程と、前記表示された教示用欠陥についてカテゴリAを修正または教示用画像

から除外する修正または除外過程とを含み、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得する学習工程を有することを特徴とする。また、本発明は、被検査物の欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像に基づいて欠陥種類を分類する欠陥分類方法であって、ユーザが予め教示用欠陥画像にカテゴリAを付与することにより教示用欠陥画像とカテゴリの対応をシステムに教示する教示過程と、教示用欠陥画像の各カテゴリに対する分類評価値（連続量）を算出する算出過程と、該算出過程で算出された教示用欠陥画像の分類評価値を表示手段に表示し、該表示結果に基づきカテゴリAを修正または教示用画像から除外する修正または除外過程と、前記修正したカテゴリAに基づき画像との対応をシステムに教示する過程とを含み、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得する学習工程を有することを特徴とする。

【0011】また、本発明は、被検査物の欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像に基づいて欠陥種類を分類する欠陥分類方法であって、教示用欠陥画像から特徴量を抽出する過程と、該抽出された特徴量に基づく特徴量空間に各々の教示用欠陥画像を表示し、該表示結果に基づきユーザが欠陥を選択し、該選択された教示用欠陥画像を表示し、該表示結果に基づきユーザが教示用欠陥画像にカテゴリAを付与するカテゴリ付与過程とを含み、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得する学習工程を有することを特徴とする。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、前記欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に基づいて複数の教示用欠陥の各々を分類してカテゴリを付与する計算手段と、前記欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像と前記計算手段で複数の教示用欠陥に対して分類されたカテゴリとを表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された被検査対象の欠陥画像を元に、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから前記欠陥の種類を分類する計算手段とを備えた分類部とで構成することを特徴とする欠陥分類装置である。

【0012】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出する計算手段と、該計算手段で算出された所望の複数の特徴量の関係に基づく特徴量空間上に

教示用欠陥を位置させて表示し、更に教示用欠陥に対して付与されたカテゴリを表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類部とで構成することを特徴とする欠陥分類装置である。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像から複数の教示用欠陥の各々について所望の複数の特徴量を算出し、該算出された各教示用欠陥についての所望の複数の特徴量の関係から各教示用欠陥を分類するカテゴリ分類評価値を算出する計算手段と、各教示用欠陥について前記計算手段で算出されたカテゴリ分類評価値を表示し、更に教示用欠陥に対して付与されたカテゴリを表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥の特徴量と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査物に対して検査されて見付かった欠陥について撮像して被検査対象の欠陥画像を検出し、該検出された被検査対象の欠陥画像から欠陥の所望の特徴量を算出し、該算出された欠陥の所望の特徴量を元に、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから前記欠陥の種類を分類する分類部とで構成することを特徴とする欠陥分類装置である。

【0013】また、本発明は、被検査物の欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像に基づいて欠陥種類を分類する欠陥分類装置であって、教示用欠陥画像に基づき分類パラメータを算出し、該算出された分類パラメータに基づき教示用欠陥画像にカテゴリを付与するカテゴリ付与手段と、該カテゴリ付与手段でカテゴリが付与された教示用欠陥画像を表示する表示手段と、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して格納する記憶手段とを備えたことを特徴とする。また、本発明は、被検査物の欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像に基づいて欠陥種類を分類する欠陥分類装置であって、教示用欠陥画像に基づき分類パラメータを算出し、該算出された分類パラメータに基づき教示用欠陥画像の各カテゴリに対する分類評価値（連続値）を算出する算出手段と、該算出手段によって算出された教示用欠陥画像の各カテゴリに対する分類評価値を表示する表示手段と、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して格納する記憶手段とを備えたことを特徴とする。また、本発明は、被検査

物の欠陥検査で発見された欠陥を撮像して得られた画像に基づいて欠陥種類を分類する欠陥分類装置であって、教示用欠陥画像から特徴量を抽出する特徴量抽出手段と、該特徴量抽出手段で抽出された特徴量に基づく特徴空間に位置する教示用欠陥画像を表示する表示手段と、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して格納する記憶手段とを備えたことを特徴とする。

【0014】以上説明したように、前記構成によれば、学習型欠陥分類装置を用いて統計的に有意な教示用データを効率的に作成可能となり、欠陥分類装置の性能を高い次元で活用することができ、この結果、欠陥分類精度が向上し、ひいては製造プロセスの異常原因を高精度に推定することが可能となり、製造プロセスの異常改善に効果を発揮することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明に係る実施の形態について、図面を用いて説明する。図1は、本発明に係る欠陥分類方法およびその装置が半導体製造プロセスにおいて果たす役割を説明するための図である。半導体素子の製品は、ウエハ等の基板1に対して数百もの製造プロセス工程1～nを経て製造され、完成までに約百日もの期間を要する場合がある。しかし、半導体素子の製品の良否が判明するのは、ほぼ全ての製造プロセスが完了したブローブ検査工程1tである。このため、歩留まりを向上するためには途中の製造プロセス工程におけるプロセス処理の良否を推定する手段が必須である。このために、例えば、製造プロセス工程1においてプロセス処理された基板1に対して外観検査装置（光学的検査するものとか、電子線を用いて検査するものがある。）2による外観検査が行われ、基板1に形成された配線パターンの外観異常からプロセス処理の良否を判定することが行われている。プロセス処理の異常が確認された場合、対策を実施する必要があるが、このための情報収集手段としての欠陥分類装置3は重要な役割を果たしている。すなわち、外観検査装置2の検査結果4からは欠陥の場所と数は把握できるが、その中身についての情報は得られない。このため、欠陥分類装置3において、外観検査装置2から得られる欠陥の場所での画像5を基にして欠陥の種類（異物なのか、パターン欠陥なのか、傷なのか、その他なのか）を分類し、品質管理システム7において、この分類された情報に基づいて不良モード別の発生頻度6を表示手段を用いて表示させることにより、作業者が対策候補絞り込み工程8（a）において対策候補を絞り込むことができる。ところで、製造プロセス工程1としては、成膜工程、レジスト塗布工程、露光・現像工程、エッチング工程、およびレジスト剥離工程などから構成され、様々なプロセス処理装置が設置される製造ラインによって構成されることになる。従って、様々な種類（カテゴリ）の欠陥を発生する様々なプロセス処理装置

が存在することになる。

【0016】図1に示す実施例では、パターン欠陥に比べ異物の発生頻度が大きいため、異物発生防止対策を行えば良いことが判る。即ち、作業者は、原因推定工程8(b)において、発生頻度が高い欠陥を優先的に原因推定し、対策工程9において、該推定された原因を基にプロセス処理を実行するプロセス処理装置に対して対策を施すことで、迅速に歩留まり向上が図れる。本発明に係る欠陥分類装置3は、従来目視で行われていた欠陥分類作業を自動化する装置であり、高い分類性能が要求される。次に、本発明に係る欠陥分類装置ならびに分類手順について、図2～図5を用いて説明する。図2は、本発明に係る欠陥分類装置の一実施例を示す構成図である。図3は、図2に示す欠陥分類装置で行う分類手順を説明するための図である。図4は、教示用データ作成手順ならびに画面ならびに教示用データの一実施例を示す図である。図5は、学習の原理を説明するための図である。説明は図3の分類手順に従って図2を参照して行う。該当する箇所では図4、図5を参照する。

【0017】分類手順は、図3(a)に示す学習工程と図3(b)に示す分類工程に分かれる。

【0018】まず、本発明に係る欠陥分類装置において実行する図3(a)に示す学習工程について説明する。学習工程では、ステップS31において、次に具体的に説明するように、教示用データを作成するための欠陥画像が収集されて画像記録装置(画像記憶装置)20に格納される。即ち、まず、図2に示す如く、基板搬送制御部24で制御される基板搬送装置11により教示用データを作成するための教示用欠陥が形成された基板12'をステージ13上に搭載する。一方、ホストコンピュータ15は、外観検査装置2等で検査されて選択された教示データ用の基板12'に対応する欠陥座標情報を上位システムからネットワーク14を経由して受け取る。ホストコンピュータ15は、受け取られた欠陥座標情報を参照してステージ制御部16に指示を送り、ステージ13を移動して基板12'上の教示用欠陥を観察位置に移動させる。そして、TVカメラ等の撮像装置18は、光学系17を介して得られる欠陥の画像を撮像し、撮像された欠陥の画像信号を画像入力装置19を介して画像記録装置20に記録させる。以上の処理を指定された欠陥について繰り返すことによって、教示用データを作成するための教示用欠陥画像信号が画像記録装置20に蓄積されて、教示用欠陥画像信号が収集させることになる。以上説明したように、上記基板12'は、予め教示用データを作成するためのものである。

【0019】次に、ステップS32において、ホストコンピュータ15に対するオペレータの操作によって教示用データ作成(カテゴリA付与)が行われる。即ち、図4(a)は教示用データ作成のフローを示し、同図(b)は教示用データ作成におけるモニタ23の画面を

示し、同図(c)は記憶装置25に記憶された教示用データの例である。図4(a)に示す如く、ステップS51において、オペレータがキーボード等の入力手段22を用いて欠陥画像 $i=1$ を指定操作することにより、ホストコンピュータ15は、ステップS52において、画像記録装置(画像記憶装置)20に記録された教示用データ用の欠陥画像信号 $i=1$ を呼び出してモニタ23に表示させる。同時に、オペレータは、教示用の欠陥画像を順番に観察していく過程で、類似した欠陥画像を同一カテゴリとして登録すべく、カテゴリと欠陥名(欠陥の種類:異物、パターン欠陥、傷、その他)との対応関係(カテゴリー一覧表)を入力手段22を用いてホストコンピュータ15に入力して記憶装置25に登録する。これによって、ホストコンピュータ15は、モニタ23の画面に、カテゴリと欠陥名との対応関係を示すカテゴリー一覧表32を表示することができる。ステップS53において、オペレータは、図4(b)に示すように、モニタ23の画面に31として表示された教示用欠陥画像 $i=1$ を観察し、カテゴリー一覧表(カテゴリと欠陥名との対応関係)32を参照して教示用欠陥画像 $i=1$ に対して入力手段22によりカテゴリA(モニタ23の画面における33)を入力して付与することにより、教示用欠陥画像を示す欠陥番号 $i=1$ に対してカテゴリAが記憶装置25に記憶される。ステップS54において、画像記録装置20に収集記録されたすべての教示用欠陥について処理が終わるまで、ステップS55において、オペレータが入力手段22を用いて教示用欠陥画像 $i=i+1$ の指定操作を繰り返すことにより、ホストコンピュータ15は、ステップS52において、画像記録装置20に記録された教示用欠陥画像信号 $i=i+1$ を順次呼び出してモニタ23の画面に表示させることを繰り返すことになる。更に、ステップS53において、オペレータは、順次モニタ23に表示された教示用欠陥画像 $i=i+1$ を観察し、モニタ23の画面に表示されたカテゴリー一覧表(カテゴリと欠陥名との対応関係)32を参照して順次教示用欠陥画像 $i=i+1$ に対して入力手段22によりカテゴリを入力して付与することにより、順次教示用欠陥画像を示す欠陥番号 $i=i+1$ に対して記憶装置25に記憶されることになる。

【0020】即ち、図4(b)に示すように、モニタ23の画面には、教示用欠陥画像31とカテゴリー一覧表32とが表示されるので、オペレータは、教示用欠陥画像31を観察しながら、一覧表32から該当するカテゴリ番号を選択してカテゴリ番号入力部33を用いて入力する。ここで、カテゴリとは、欠陥の種類に与えられる番号であり、欠陥の種類に対応して決められる。例えば異物は1、パターン欠陥は2、傷は3、その他は4のようなものである。オペレータが入力手段22を用いて入力されたカテゴリは、ホストコンピュータ15において教示用データとして記憶装置25に記憶される。ここで、

カテゴリとは予め決められるものではなく、教示用欠陥画像 i を順番に観察していく過程で決まることに注意を要する。すなわち、画像記録装置 20 に収集された教示用欠陥画像の全体の傾向は未知であるため、順番に教示用欠陥画像 i を観察しながら類似した欠陥を同一カテゴリとして登録する必要がある。このため、教示用データは、矛盾したデータを含みやすい傾向にある。次に、ステップ S 33 において、画像処理装置 21 は各教示用欠陥画像 i に対して各種特徴量 34 の抽出（特徴量選択も含む。）を行ってホストコンピュータ 15 に提供し、カテゴリ 35 と対応させて図 4（c）に示す教示用データとして記憶装置 25 に記憶される。即ち、画像処理装置 21 は、画像記録装置 20 に記憶された各教示用欠陥画像信号 i を読み出し、この読み出された各教示用欠陥画像信号 i に対して画像処理を実施して教示用欠陥画像 i の各種特徴量を抽出してホストコンピュータ 15 に提供し、記憶装置 25 に記憶させる。ここで、欠陥画像の各種特徴量とは、欠陥画像の色情報、形状、サイズ等である。例えば、カテゴリ 1 の異物は暗く、円形に近いが、カテゴリ 2 のパターン欠陥は周辺パターンと同一色で形状が複雑であり、カテゴリ 3 の傷は面積が小さいが長さが長い性質、等の特徴がある。そこで、画像処理装置 21 は、予め決められた種類の特徴量 1～5（図 4（c）の例では 5 通り 34）を計算してホストコンピュータ 15 に提供し、記憶装置 25 に教示用データとして欠陥番号に対応して記憶する。ここで、分類に有効な特徴量は一意に決められないということに注意を要する。欠陥分類装置 3 が対象とする製品または工程によって欠陥は異なる。このため、考えられる範囲で多数の特徴量（色情報、形状、サイズ等）を用意しておき、収集された欠陥の分類に有効な特徴量のみを選択して使用することが行われる。特徴量の選択方法については後述する。図 3

（a）に示すステップ S 33 における特徴抽出には、特徴量選択も含まれる。

【0021】次に、ステップ S 34 において、ホストコンピュータ 15 は、ステップ S 32 においてカテゴリ A が付与された教示用データを基に学習（分類パラメータ算出）が行われ、算出された分類パラメータ 26 を記憶装置 25 に記憶される。図 5（a）（b）は学習の原理を説明するための図である。図 5（a）はステップ S 32 においてカテゴリ A が付与された教示用データの特徴量空間にプロットした図である。ここで、 $\times 42$ はカテゴリ 1 であり、 $\square 43$ はカテゴリ 2 であり、 $X1$ は特徴量 1、 $X2$ は特徴量 2 を示す軸である。ホストコンピュータ 15 において行う学習とは、ステップ S 32 において付与されたカテゴリ間の判別関数を計算することを意味し、前記関数を分類パラメータ 26 と称する。判別関数を図示すると、図 5（b）に示す 46 は、カテゴリの境界となる。判別関数の算出方法は多くの手法が知られているが、本明細書では代表的手法である判別分析を例

に説明する。以後、判別分析を例に説明を進めるが、本発明は他の手法においても同様に成り立つ。

【0022】次に、複数の特徴量を基にして分類パラメータ 26 であるカテゴリ間の判別関数を算出する方法である判別分析について、図 5（b）を用いて説明する。同図において、点 47 はカテゴリ 1 の重心、点 48 はカテゴリ 2 の重心、楕円 49 は重心からの距離が等しい点の集まりを表す。ここで距離とは特徴量空間におけるユークリッド距離を、教示用データの分散で基準化したものでありマハラノビス距離と呼ばれる。境界線 46 はカテゴリ 1 およびカテゴリ 2 の重心から等距離にある点の集合である。未知の点 50（欠陥に対応）に対するカテゴリ間の判別関数は次に示す（数 1）式で与えられる。

【0023】

$$【数 1】 Z1 \cdot 2 = D1^2 - D2^2$$

但し、 $Z1 \cdot 2$: カテゴリ 1 とカテゴリ 2 との判別関数
 $D1^2$: カテゴリ 1 の重心とのマハラノビス平方距離
 $D2^2$: カテゴリ 2 の重心とのマハラノビス平方距離
 このため、 $Z1 \cdot 2$ に基づく下記（数 2）式により分類が可能である。

【0024】

$$【数 2】 Z1 \cdot 2 < 0 \rightarrow \text{カテゴリ 1 に属する}$$

$$Z1 \cdot 2 > 0 \rightarrow \text{カテゴリ 2 に属する}$$

ここで、図 5（a）（b）では 2 つの特徴量を用いて説明したが実際には多次元のベクトル空間が構成されることに注意を要する。

【0025】次に、本発明に係る実際に所望のプロセス処理工程に設置されたプロセス処理装置によってプロセス処理された被検査対象基板（ウエハ）に対して基板単位またはロット単位で抜き取られて外観検査装置 2 で検査され、該外観検査装置 2 で欠陥と判定された基板単位若しくはロット単位での被検査対象基板に対して欠陥分類装置において実行する図 3（b）に示す分類工程について説明する。分類工程では、ステップ S 41 において、次に具体的に説明するように、実際に所望のプロセス処理工程においてプロセス処理装置によってプロセス処理された被検査対象基板（ウエハ）に対して基板単位またはロット単位で抜き取られて外観検査装置 2 で検査され、該外観検査装置 2 で欠陥と判定された基板単位若しくはロット単位での被検査対象基板の欠陥画像が収集されて画像記録装置（画像記憶装置）20 に格納される。即ち、まず、図 2 に示す如く、基板搬送制御部 24 で制御される基板搬送装置 11 により外観検査装置 2 で欠陥と判定された基板単位若しくはロット単位での被検査対象基板 12 をステージ 13 上に搭載する。一方、ホストコンピュータ 15 は、外観検査装置 2 等で基板単位若しくはロット単位で検査されて欠陥が存在する被検査対象基板 12 に対応する欠陥座標情報を上位システムからネットワーク 14 を経由して受け取る。ホストコンピュータ 15 は、受け取られた欠陥座標情報を参照してス

テージ制御部 1 6 に指示を送り、ステージ 1 3 を移動して被検査対象基板 1 2 上の欠陥を観察位置に移動させる。そして、TVカメラ等の撮像装置 1 8 は、光学系 1 7 を介して得られる欠陥の画像を撮像し、撮像された欠陥の画像信号を画像入力装置 1 9 を介して画像記録装置 2 0 に記録させる。以上の処理を外観検査装置 2 によって検査された欠陥について繰り返すことによって、カテゴリを分類するための欠陥画像信号が分類対象の欠陥番号に対応させて画像記録装置 2 0 に蓄積されて、分類対象の欠陥画像信号が収集させることになる。

【0026】次に、ステップ S 4 2 において、画像処理装置 2 1 は、分類対象の欠陥画像に対して各種特徴量の抽出（特徴量選択も含む。）を行ってホストコンピュータ 1 5 に提供し、記憶装置 2 5 に記憶される。即ち、画像処理装置 2 1 は、画像記録装置 2 0 に分類対象の欠陥番号に対応させて記憶された分類対象の欠陥画像信号を読み出し、この読み出された各欠陥画像信号に対して画像処理を実施して欠陥画像の各種特徴量（分類データと称する。）を抽出してホストコンピュータ 1 5 に提供し、記憶装置 2 5 に記憶させる。ここで、欠陥画像の各種特徴量とは、欠陥画像の色情報、形状、サイズ等である。上記記憶装置 2 5 に記憶された分類データは、図 4（c）の教示用データと同様な形態であるが、カテゴリ欄 3 5 は空欄となっている。そこで、ホストコンピュータ 1 5 は、ステップ S 4 3 において、上記記憶装置 2 5 に記憶された各欠陥ごとの分類データ（各種特徴量）と、学習工程で算出されて上記記憶装置 2 5 に記憶された分類パラメータ（特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数）2 6 で示される教示用データとを用いてカテゴリ（欠陥の種類に対応する。）を推定する分類演算を行って分類カテゴリ B 2 7 を推定し、この推定された分類カテゴリ B（欠陥の種類に対応する。）2 7 を上記分類対象の欠陥番号に対応させて記憶装置 2 5 に記憶させる。

【0027】このように、記憶された分類カテゴリ B 2 7 は、ネットワーク 1 4 を経由して上位システムである品質管理システム 7 に転送され、品質管理システム 7 において図 1 に示すような不良モード（欠陥の種類に対応する分類カテゴリ B）について表示され、対策候補の絞り込みや欠陥の発生原因の推定等の解析が行われる。以上説明したような学習型分類システム（欠陥分類装置）3 では、教示用データ作成が最も重要である。オペレータが矛盾した教示用データしか作成することができないと、システムの機能を十分に活用することができない。例えば、図 4（b）に示す画面において、オペレータが教示用欠陥画像 3 1 に対して教示カテゴリ 3 3 について入力ミスを行なうことが考えられる。このように入力ミスを犯した場合、図 5（c）に示すように、特徴量空間でカテゴリ 1 およびカテゴリ 2 に分離したクラス 5 2 においてノイズ 5 3 が混入した教示用データとなる。ま

た、図 4（b）に示す画面において、オペレータが教示用欠陥画像 3 1 を観察したとき、例えば、カテゴリ 1 とカテゴリ 2 のどちらに属するか迷うことがある。このように迷って教示カテゴリ 3 3 を入力した場合、入力するカテゴリに一貫性がなくなり、図 5（d）に示すように特徴空間での境界が交差した教示用データとなる。さらに、オペレータが未熟で、教示用欠陥画像 3 1 に対して教示カテゴリ 3 3 を入力した場合、カテゴリに一貫性がなくなり、図 5（e）に示すように異なるカテゴリが特徴量空間に均一に分布した矛盾した教示用データを作成するおそれがある。このような場合、システムが正常に動作しなくなり欠陥分類性能が著しく低下する。従来のシステムでは、このような場合、オペレータが何をどのように改善して良いのかの指針を与えてくれなかった。

【0028】次に、本発明に係るオペレータが教示用データを作成する過程で、教示用データを診断・評価したり、また作成支援する機能を提供することにより、未熟なオペレータであっても高い分類性能で欠陥分類装置を操作できる構成について、図 6 および図 7 を用いて説明する。即ち、本発明に係る第 1 の実施例である教示用データ診断機能について、図 6 および図 7 を用いて説明する。図 6 は、教示用データ診断機能のフローチャートである。図 7 は、教示用データ診断機能を実現する画面の説明図である。以下で述べるオペレータの操作はキーボード等の入力手段 2 2 を通して行われ、結果はモニタ 2 3 に表示される。また、オペレータの操作結果もモニタ 2 3 に表示される。さらに、オペレータの操作に対する処理はホストコンピュータ 1 5 で行われ、結果はホストコンピュータ 1 5 の記憶装置 2 5 等に格納されるものである。

【0029】ところで、図 6 に示す最終欠陥判定ステップ S 5 4 までは、図 4（a）に示す教示用データ作成操作フローと同じである。そして、特に、本発明においては、前述したように 1 度作成された教示用データの診断を行うことに特徴がある。以下に、この診断手順について説明する。まず、ホストコンピュータ 1 5 は、ステップ S 5 6 において、ステップ S 5 4 までに作成されて記憶装置 2 5 に記憶された教示用データを用いて特徴量の選択を行う。すなわち、ホストコンピュータ 1 5 は、予め用意してある特徴量の内、教示用データを分類する上で有効に機能する特徴量のみを選択する。特徴量の選択手順は、例えば、判別分析における変数選択法として知られている。変数選択法では変数を追加する前後の判別効率（上記（数 1）式で示される重心間のマハラノビス平方距離）を比較することにより、統計的有意性を判定するものである。

【0030】次に、ホストコンピュータ 1 5 は、ステップ S 5 7 において、選択された特徴量を用いて分類パラメータ（特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数）2 6 を算出し、ステップ S 5 8 において、該算出された分

類パラメータに基づいて教示用データの分類を実施する。

【0031】ところで、良い教示用データが作成されている場合、分類結果である分類カテゴリB 27はオペレータが予め付与したカテゴリAと完全に一致するはずである。ここで、カテゴリAとBが一致しない（相違する）教示用データはユーザがミスをした可能性が高い。このため、ホストコンピュータ15は、ステップS 59において、カテゴリAとBが一致しない（相違する）教示用データをモニタ23の画面に表示してオペレータの確認を促す。図7（a）はカテゴリAとBが一致しない教示用データを表示した例である。画面右隣の特徴量空間59は説明のために図示したものである。画面左端の画像はカテゴリAとBが1または2で一致した教示用欠陥（例えば暗い丸い形状欠陥および明るい星形状欠陥）を参照するために表示してある。画面真ん中の画像と左端の画像がカテゴリが不一致であった教示用欠陥

（例えば明るい丸い形状欠陥、明るい2種類の多角形状欠陥、暗い星形状欠陥）である。画像の下に数字は→の左側62がカテゴリAを、→の右側63がカテゴリBを示す。図の例は、教示用欠陥60（a）、61（a）は丸い形状をしておりオペレータは丸さに着目してカテゴリ1とし、教示用欠陥60（b）、61（c）は複雑な形状をしておりオペレータは形状に着目してカテゴリ2としたと推定される。ところが、ホストコンピュータ15は、教示用欠陥61（a）、60（b）をカテゴリ2、教示用欠陥60（a）、61（c）をカテゴリ1と判定した。これは、教示用データ作成の過程で、本来オペレータは形状ではなく教示用欠陥の明るさに着目してカテゴリを付与したためである。特徴量空間では、暗い欠陥60（a）と明るい欠陥61（b）が分離したクラスタを形成しており、暗い欠陥のクラスタ60（a）に明るい欠陥61（a）が、明るい欠陥のクラスタ60（b）に暗い欠陥61（c）が混入している。これはユーザがカテゴリ付けをする過程で分類基準を変更または迷ったために生じたノイズである。このため、ホストコンピュータ15はこれらのノイズ61（a）、61

（c）に影響されて本来の分類パラメータとはずれた値を出力する。判別分析を例に説明すれば、ノイズの影響で教示用データの分散が増加し、2群の分離度が低下し、交差領域64が大きくなる。

【0032】そこで、ステップS 60において、オペレータは、図7（b）（d）に示すように、モニタ23の画面を見ながら、ホストコンピュータ15に対して入力手段22を用いてカテゴリAの修正または教示用データからの削除を行う。即ち、分類パラメータ（特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数）を修正するために、図7（b）に示すように、カテゴリAとBとが一致しない欠陥61（a）、61（c）では、オペレータは入力手段22を用いてカテゴリAを修正する。欠陥61（a）

のカテゴリを1から2に、欠陥61（c）のカテゴリを2から1に修正した様子を示す。同図（c）は、これらノイズとなっている欠陥のカテゴリ65を修正して、再度、ホストコンピュータ15が学習シーケンスを繰り返した結果である。この結果、教示用データの分散が低下し、2群の分離度が向上し、ひいては分類性能が向上した。

【0033】ホストコンピュータ15は、再度求めた分類パラメータに従って教示用データを分類すると、欠陥61（b）、61（d）がカテゴリAとBが一致しない教示用データとしてモニタ23の画面に表示される。これらは、欠陥の外観からどちらのカテゴリとも判別が難しいものであり、教示用データとしてふさわしくない。このため、オペレータは入力手段22を用いて、図7

（d）に示すようにこれら欠陥66を教示用データから除外することで、曖昧な判定を低減し、明確な特徴を有する欠陥のみを教示用データとして選別することが可能となる。この結果、再度学習・分類を行った結果では、図7（e）に示すように教示用データの分散はさらに低下し、2群67が明瞭に分離して良好な分類パラメータを算出することができる。以上の操作を画面にカテゴリAとBが不一致となる欠陥画像が表示されなくなるまで繰り返す。以上説明したように、上記実施例では、特定の条件に該当する欠陥の画像のみを画面に表示することに特徴がある。即ち、教示用データとは人間が目視した結果を真とするため、必ず欠陥画像をオペレータに提示する必要があるのである。この際、分類に悪影響を与える恐れがある欠陥のみを選別して表示することで、ユーザは効率的に教示用データを修正することが可能となる。

【0034】次に、本発明に係る第2の実施例である教示用データ評価機能について、図8、図9を用いて説明する。図8は、教示用データ評価機能のフローチャートである。図9は、教示用データ評価機能を実現する画面の説明図である。図8のフローチャートは図6と類似しており、図6との違いは分類評価値算出手順（ステップS 61）が含まれることである。一般に、分類処理では分類の信頼性を定量的に求められる場合が多い。例えば、判別分析法では、前述したように（数1）式で示される判別関数によりカテゴリへの帰属確率が定量的に出力される。この結果、カテゴリ別に帰属確率を評価できることになる。一般に、欠陥画像は明瞭にカテゴリを決めることができない場合が多く、この場合、オペレータはホストコンピュータ（システム）15が算出する帰属確率を拠り所にして教示用データを作成することが可能となる。例えば、ある欠陥画像はカテゴリ1～5の内、カテゴリ1と3の距離が他より小さく、ほぼ同等であるとする。この結果、ユーザはカテゴリを5通りから選択する代わりに前記2通りから選択することが指針として得られる。

【0035】図9(a)は教示用データを分類した結果を表示した画面の例である。同図の上段69(a)、69(b)、69(c)はオペレータが予め付与したカテゴリAがカテゴリ1である欠陥の画像を、下段69

(d)、69(e)、69(f)はオペレータが予め付与したカテゴリAがカテゴリ2である欠陥の画像が表示されている。ここで、ステップS62において、上段には、ホストコンピュータ15が判別関数によりカテゴリの帰属確率として定量的に算出したカテゴリ1の分類評価値70が小さい順(帰属確率が大きい順)に左から右に並べて表示されていることに注意されたい。同様に、ステップS62において、下段には、カテゴリ2の分類評価値71が小さい順(帰属確率が大きい順)に左から右に並べて表示されている。同図(a)より、欠陥69(c)は分類評価値が大きく逆転しており(カテゴリ1の評価値0.8に対してカテゴリ2の評価値0.2)教示用データが正しくないことが定量的に把握できる。欠陥69(b)についても分類評価値がカテゴリAに比べて逆転しているが、カテゴリ間の差が小さく明瞭に分離できないことが判る。図9(b)～図9(e)では、ステップS60において、図7と同様の順序でカテゴリを修正して学習し直した過程を示している。図7と比較すると、分類評価値を参照することにより、カテゴリAの修正を定量的に判定できる利点がある。また、図9

(a)と図9(e)の欠陥を比較すると、カテゴリ1の帰属確率71(a)が向上しており、教示用データ修正による効果を定量的に把握できる。

【0036】以上説明した第2の実施例では、ステップS62において、図9に示すように、欠陥の画像69(a)～69(f)が分類評価値70、71を参照してモニタ23の画面に表示されることに特徴がある。即ち、分類評価値が高い欠陥はオペレータが作成した教示用データのカテゴリを代表する欠陥画像であり、分類評価値が低い欠陥は教示用データとして曖昧な欠陥である指針となる。このため、オペレータが予め付与したカテゴリAとシステムが分類したカテゴリBがたまたま一致した欠陥であっても、分類評価値が低い場合は教示用データとして相応しくないと判断できる。このように、第1の実施例では欠陥画像の観察結果から判定せざるを得なかった曖昧な欠陥画像に対しても、分類評価値を参照することにより、正確な判定が可能となる。次に、本発明に係る第3の実施例である教示用データ作成支援機能を図10～12を用いて説明する。前記第1、および第2の実施例では、オペレータが予め教示用データへカテゴリAを付与する必要があった。一度付与したカテゴリを診断機能または評価機能を用いて修正する方法である。第3の実施例では、オペレータがカテゴリを付与する前に教示用データの傾向を示唆し、教示用データ作成の助けにすることを目的としている。このことにより、最初から曖昧な分類カテゴリを付与することを防止する

ことが可能となり、欠陥分類装置3の条件出しを効率的に実施することが可能となる。図10は教示用データ作成支援機能のフローチャートである。本第3の実施例では、図4に示す教示用データ作成を行う前に、ステップS63において、教示なしクラスタリング処理を実施することに特徴がある。妥当な教示なしクラスタリングを実施することで分類に有効に寄与する特徴量が選択できる効果がある。

【0037】教示なしクラスタリングでは、特徴量選択の指針がないことに加え、クラスタ数が未知であること等から、最適クラスタリングの自動判定が難しい。このため、ユーザとの対話的な処理が実用的である。図11に対話的な教示なしクラスタリングの処理手順の一実施例を示す。ステップS111において、ホストコンピュータ15は、記憶装置25に記憶された教示用データから予め全特徴量(m個)を算出する。次に、ステップS112において、オペレータが任意のクラスタ数をキーボード等の入力手段22を用いてホストコンピュータ15に入力する。次に、ステップS114において、入力手段22を用いてi個を入力することによって、ホストコンピュータ15は、記憶された全特徴量(m個)からi個の特徴量を選択してmCi通りの特徴量のグループを作成する。ホストコンピュータ15は、ステップS115において、各グループについて主成分分析を行いi次元のベクトルをj次元に低減する。主成分分析はもとのデータの線形変換を行うものであり、主成分の固有値の占める割合が高ければ情報の損失を少なくしつつ次元の低減が可能である。この結果、クラスタリングはj次元のベクトルに対して実行されるため計算時間を短縮できる利点がある。

【0038】次に、ホストコンピュータ15は、ステップS116において、j次元の特徴量空間でクラスタリング処理を実施する。このクラスタリング処理は一般的な手法であり様々な方式が知られている(奥野、他、多変量解析法、1971、日科技連出版社、pp391～412)。クラスタリング処理によりmCi種類のクラスタリング結果が得られると、ホストコンピュータ15は、ステップS117において、これらクラスタリング結果の妥当性を評価して順位付けを行う。クラスタリング妥当性の判定は次に示す(数3)式の評価値が小さいほど良いことが知られている。

【0039】

【数3】 $tr W$

ここで、 tr ：行列のトレース

W ：各クラスタ内の分散の和

そして、ステップS119において、ホストコンピュータ15は、上記評価値の降順または昇順にクラスタリング結果をモニタ23に表示する。ここで、ステップS118において、ホストコンピュータ15は、表示のためj次元空間を2次元に主成分分析により次元を低減す

る。次に、ステップS120において、オペレータは、表示されたクラスタリング結果を目視確認してクラスタの妥当性を判断する。判断の基準としては、図12に示すように、特徴量空間で欠陥が分離したクラスタとして表示されていること、および、各クラスタの代表的欠陥をモニタに表示・観察して有意な分類が達成されていることである。そして、ステップS120において、クラスタが妥当でない不良の場合には、ステップS121において、特徴量選択数*i*が不適切(NO)と判断されたとき、ステップS123において、入力手段22を用いてホストコンピュータ15に対して特徴量選択数*i*を変更する。また、ステップS121において、特徴量選択数*i*が適切(YES)と判断されても、ステップS122においてクラスタが妥当でない不良の場合には、S124において、入力手段22を用いてホストコンピュータ15に対してクラスタ数(例えばクラスタ数を2から3へと)を変更して再度上記処理を繰り返す。

【0040】以上説明したように、ステップS122において、妥当なクラスタが生成された場合、選択された*i*個の特徴量は分類に寄与するものと推定される。従って、ホストコンピュータ15は、選択された*i*個の特徴量を元に学習することになる。

【0041】次に、教示用データ作成支援機能を実現する画面について、図12を用いて説明する。ホストコンピュータ15は、図11に示すフローで選択された特徴量を基にして、図12に示すような特徴量空間を構成し、教示用データをプロットする。ここで、教示用データを画面に表示することにより、特徴量空間での距離に応じてカテゴリAを付与する場合の指針となる。複数の特徴空間を参照する目的は、統計的に有意な分類がオペレータが望むカテゴリと一致するとは限らないためである。また、3個以上の特徴量が選択された場合は主成分分析により、第1主成分と第2主成分による2次元の特徴量空間を表示する。図12には2つの特徴量空間85が表示されている。表示される特徴量空間の数はユーザが指定可能である。特徴量空間1の1つの点86(□、欠陥に対応)を選択すると特徴量空間2の該当する欠陥に□87が表示され、欠陥画像88が表示される。これをカテゴリ1(89)とする。次に、特徴量空間1の別の点90(○)を選択すると特徴量空間2の該当する欠陥に○91が表示され、欠陥画像92が表示される。□(86、87)と○(90、91)は2つの特徴量空間で別のクラスタに属するため、○(90、91)をカテゴリ1とは別のカテゴリとすると良いことが判る。これをカテゴリ2(93)とする。この場合、△94は特徴量空間2では2つのカテゴリの境界に位置しているが特徴量空間1の△95は○90に近い。表示された欠陥画像96を確認した上でカテゴリ2(97)とすることができる。

【0042】上記第3の実施例では、オペレータがカテ

ゴリを付与する以前にホストコンピュータ(システム)15が統計的有意性を検証して特徴量空間を表示することに特徴がある。ここで、画面に表示される欠陥の画像が特徴量空間の点に対応して画面に表示されることに注意を要する。欠陥画像のみでは曖昧なカテゴリ付けを行う場合であっても、特徴量空間の距離を参照することで、カテゴリへの帰属度を定性的に把握することができ、高い再現性で教示用データを作成することが可能となる。そして、前記したように作成された教示用データに基づいて学習することにより、高い分類性能で欠陥分類が可能となる。

【0043】

【発明の効果】本発明によれば、学習型欠陥分類装置を用いて統計的に有意な教示用データを効率的に作成可能となり、欠陥分類装置の性能を高い次元で活用することができ、その結果、欠陥の分類精度が向上し、ひいては製造プロセスの異常原因を高精度に推定することが可能となり、製造プロセスの異常改善に効果を発揮することができる。また、本発明によれば、欠陥の発生原因を推定するために欠陥の画像信号から欠陥の種類を分類するための正確な教示用データを作成する際、ユーザが与える矛盾した教示用データを指摘することによって、正確な教示用データを取得することができ、その結果、欠陥の分類精度が向上し、ひいては製造プロセスの異常原因を高精度に推定することが可能となる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る欠陥分類方法およびその装置が半導体製造プロセスにおいて果たす役割を説明するための図である。

【図2】本発明に係る欠陥分類装置の一実施例を示す構成図である。

【図3】図2に示す欠陥分類装置が行う処理手順を説明するための図である。

【図4】教示用データ作成手順ならびにモニタの画面ならびに教示用データの例を示す図である。

【図5】学習工程における学習の原理を説明するための図である。

【図6】本発明に係る第1の実施例である教示用データ診断機能を説明するフローチャート図である。

【図7】本発明に係る第1の実施例である教示用データ診断機能を実現するモニタ画面の説明図である。

【図8】本発明の第2の実施例である教示用データ評価機能を説明するフローチャート図である。

【図9】本発明の第2の実施例である教示用データ評価機能を実現するモニタ画面の説明図である。

【図10】本発明の第3の実施例である教示用データ作成支援機能を説明するフローチャート図である。

【図11】対話的な教示なシクラスタリングの処理手順の一実施例を説明する図である。

【図12】本発明の第3の実施例である教示用データ作

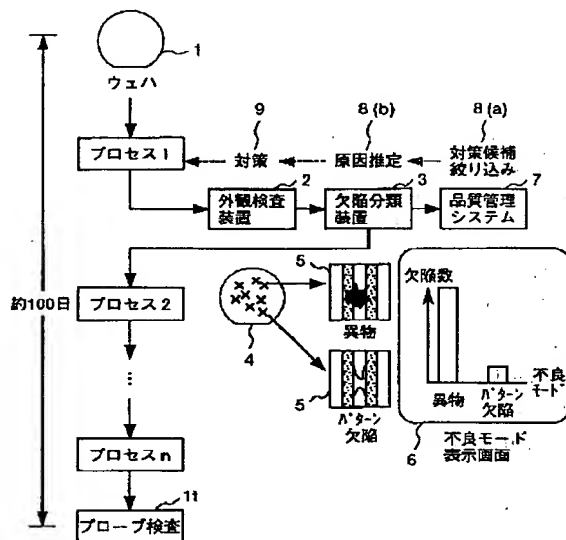
成支援機能を実現するモニタ画面の説明図である。

【符号の説明】

1…基板、1 t…ブローブ検査工程、2…外観検査装置、3…欠陥分類装置、4…外観検査結果、5…欠陥画像、6…不良モード別の発生頻度、7…品質管理システム、8 (a) …対策候補の絞り込み、8 (b) …原因推定、9…対策 (対策工程)、1 1…基板搬送装置、1 2、1 2' …基板、1 3…ステージ、1 4…ネットワーク

【図1】

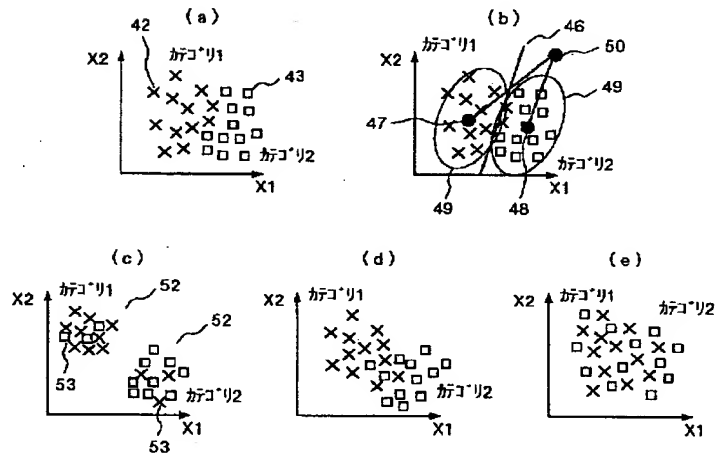
図 1



ク、1 5…ホストコンピュータ、1 6…ステージ制御部、1 7…光学系、1 8…TVカメラ、1 9…画像入力装置、2 0…画像記録装置、2 1…画像処理装置、2 2…キーボード、2 3…モニタ、2 5…記憶装置、2 6…分類パラメータ、2 7…分類カテゴリB、3 1…欠陥画像、3 2…カテゴリ一覧表、3 3…カテゴリ番号入力部、3 4…5種特微量、3 5…カテゴリ欄。

【図5】

図 5



【図7】

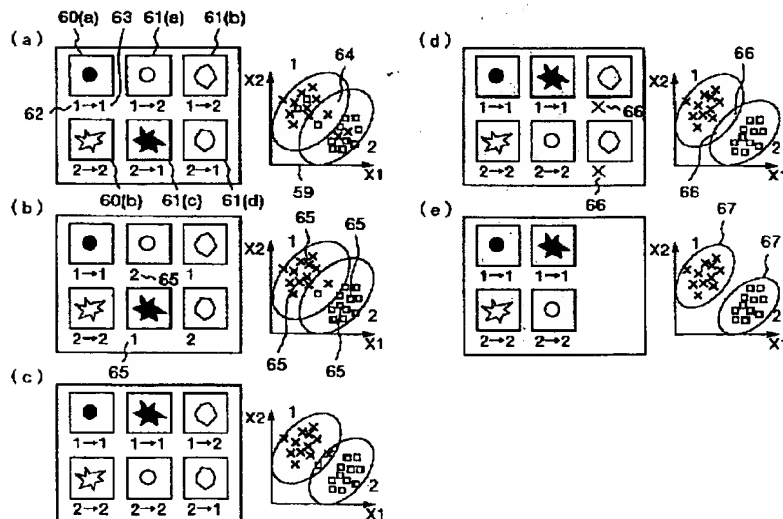
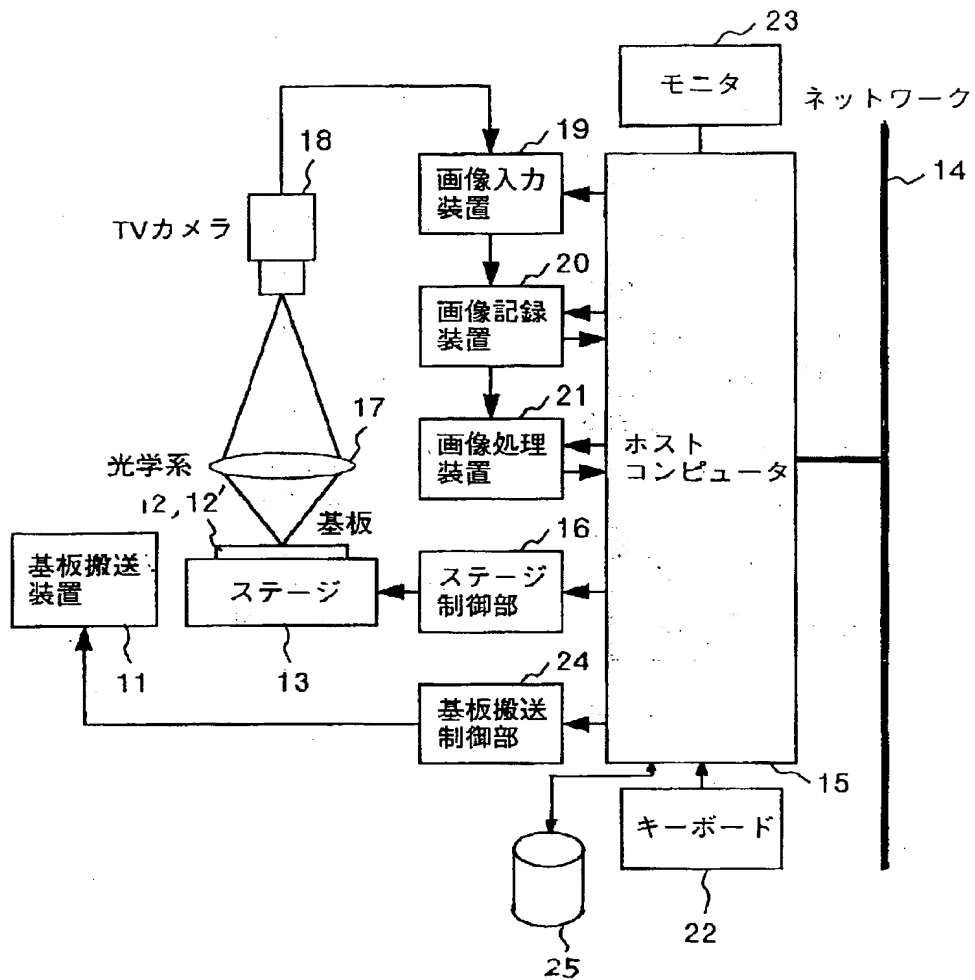


図 7

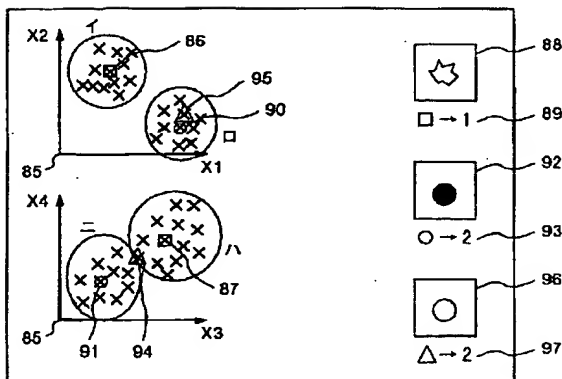
【図2】

図 2



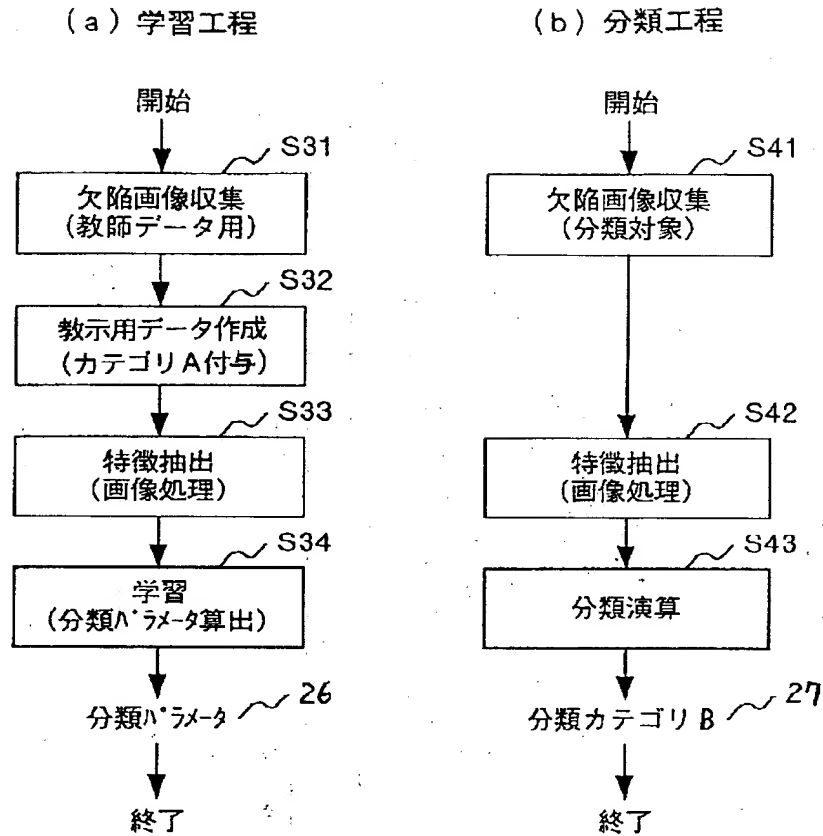
【図12】

図 12

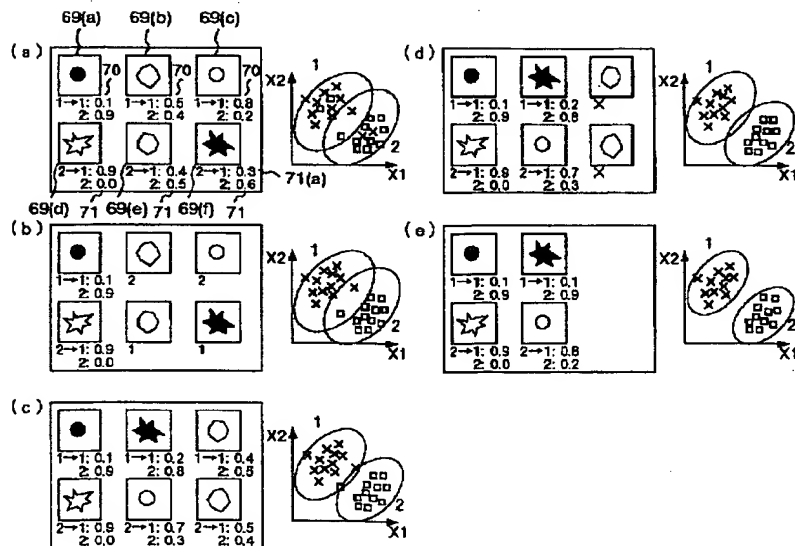


【図3】

図 3



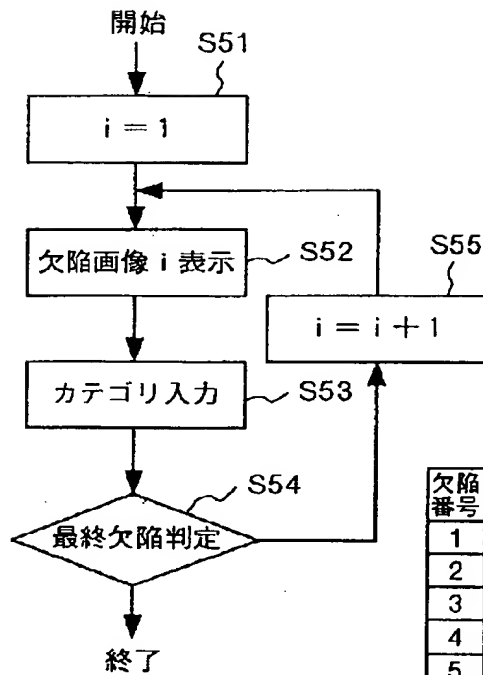
【図9】



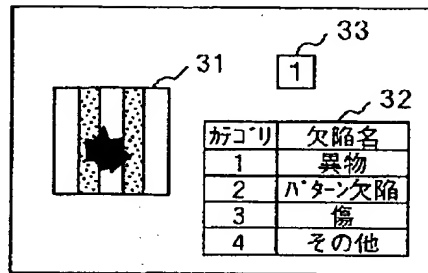
【図 4】

図 4

(a) 操作フロー



(b) モニタ画面

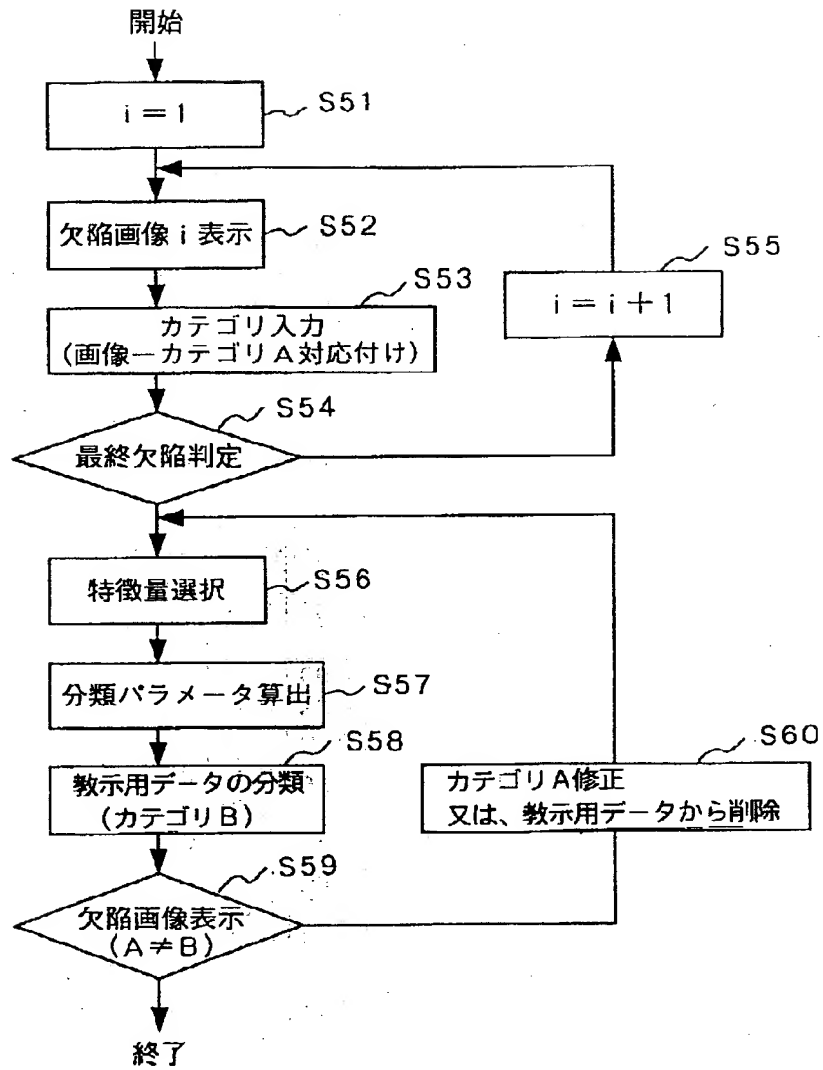


(c) 教師データ

欠陥 番号	34					35 カテゴリ
	特徴量 1	特徴量 2	特徴量 3	特徴量 4	特徴量 5	
1	0.89	0.43	0.39	0.11	0.52	1
2	0.76	0.11	0.49	0.32	0.63	2
3	0.18	0.99	0.98	0.24	0.13	1
4	0.12	0.68	0.87	0.63	0.56	2
5	0.23	0.69	0.88	0.89	0.98	1
6	0.54	0.72	0.37	0.12	0.12	1
7	0.18	0.36	0.43	0.44	0.01	2
8	0.46	0.52	0.54	0.32	0.86	1
9	0.36	0.53	0.99	0.63	0.11	1
10	0.49	0.49	0.87	0.42	0.23	1
11	0.52	0.16	0.43	0.24	0.54	3
12	0.36	0.32	0.63	0.12	0.99	4
13	0.26	0.24	0.42	0.01	0.86	4

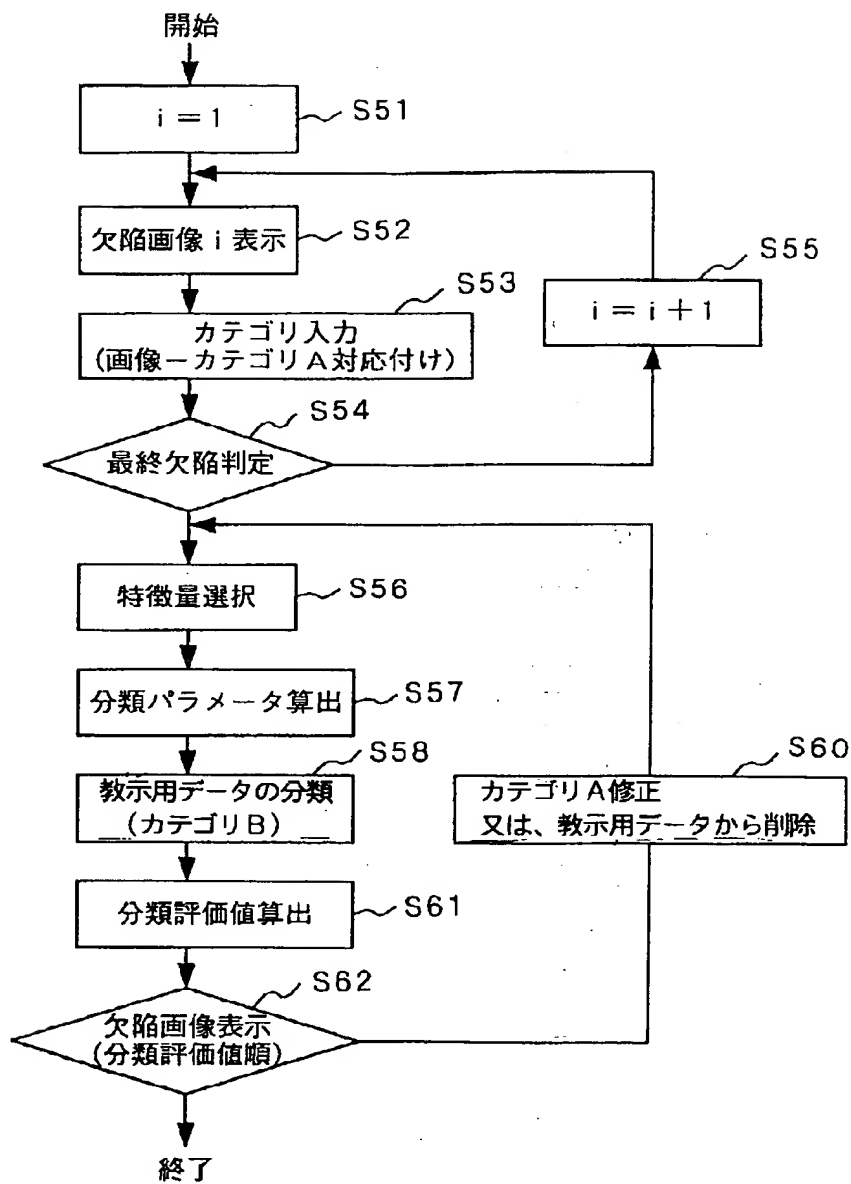
【図 6】

図 6



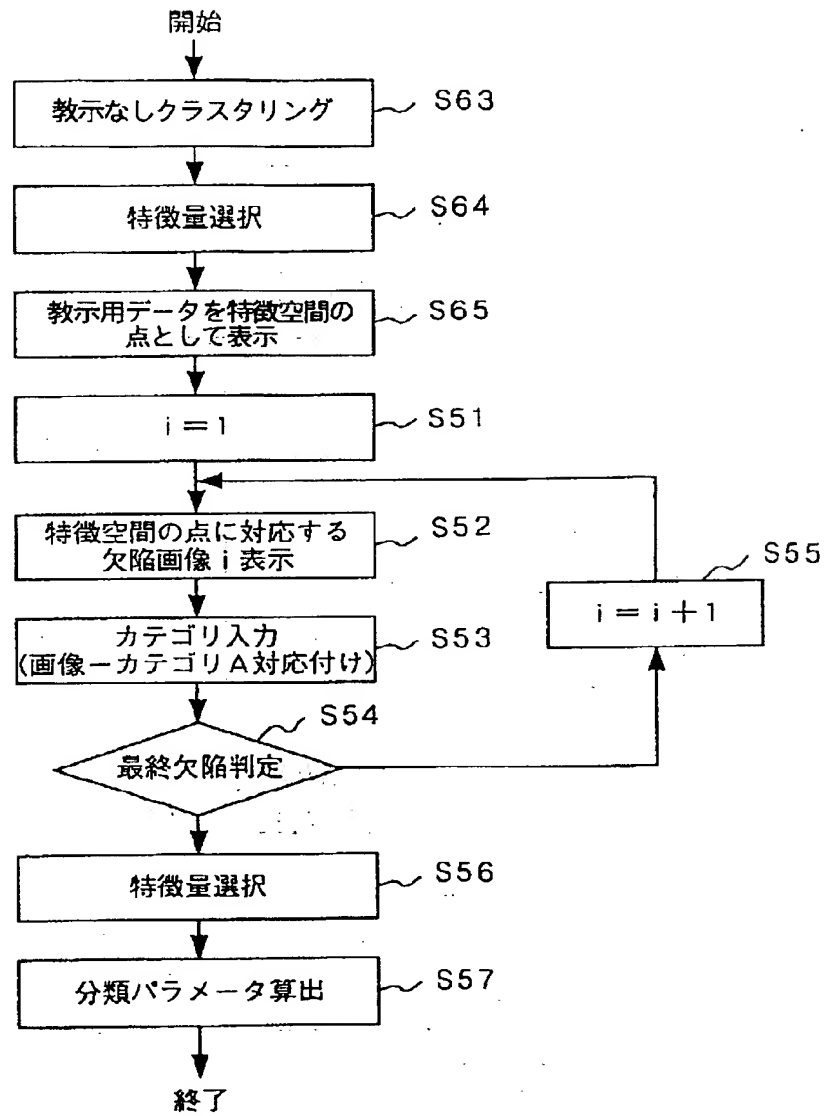
【図 8】

図 8



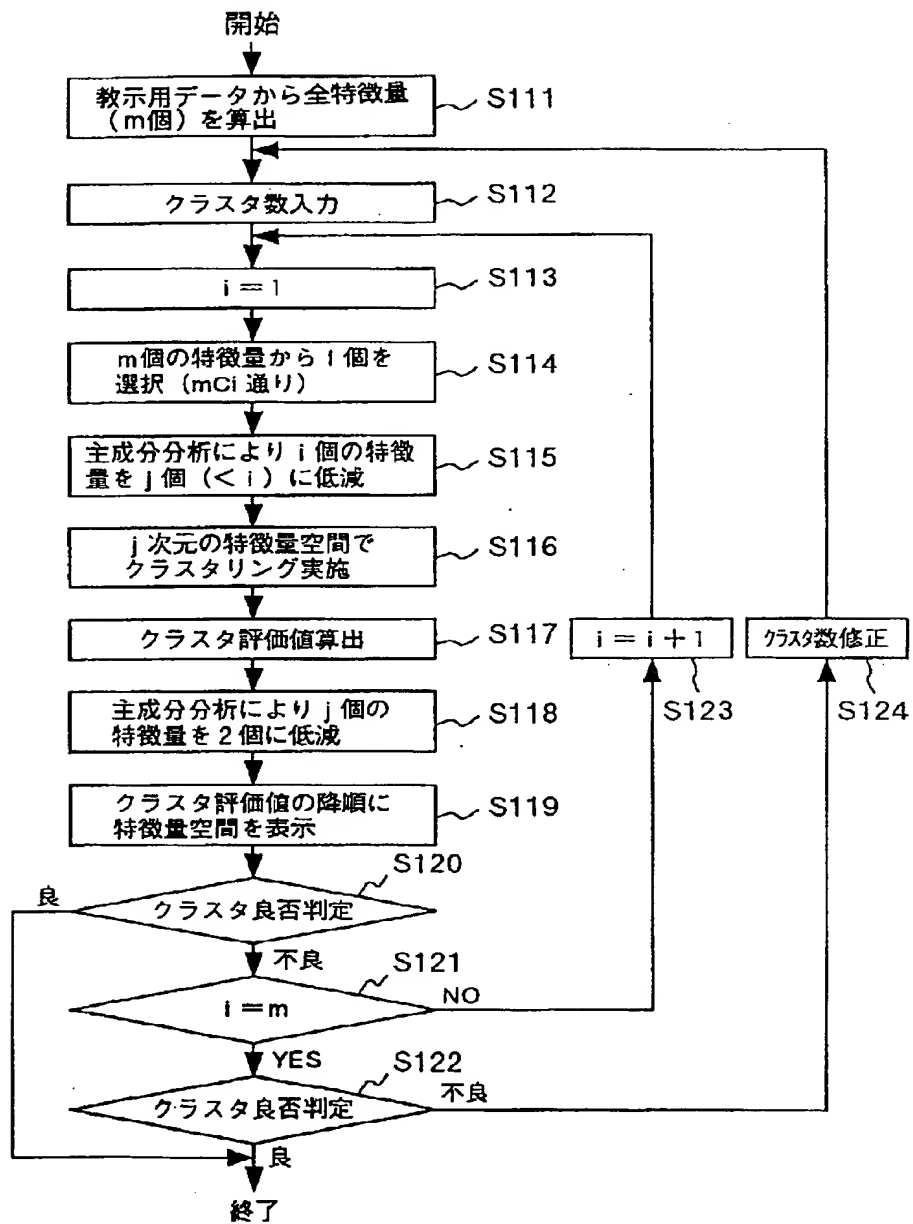
【図 10】

図 10



【図 1 1】

図 1 1



THIS PAGE BLANK (USPTO)